

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури

На правах рукопису



Пількевич Юлія Георгіївна

УДК 654: 679.76 (078)

МОНІТОРИНГ ПРІСНОВОДНИХ УРБАНІЗОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ  
МЕТОДОМ КОМП'ЮТЕРНО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Ткаченко Тетяна Миколаївна,**  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
**Триснюк Василь Миколайович,**  
Інститут телекомунікацій і глобального простору,  
Національна академія наук України,  
завідувач відділом досліджень навколишнього середовища

доктор технічних наук, доцент  
**Маджд Світлана Михайлівна,**  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України,  
професор кафедри зеленої економіки та економіки природокористування

Захист відбудеться 15 грудня 2021 р. о 13<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.05 Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31 та на сайті університету: [www.knuba.edu.ua](http://www.knuba.edu.ua).

Автореферат розісланий "15" листопада 2021 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

М.В. Суханевич

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Несприятливий екологічний стан багатьох прісноводних екосистем наносить суттєву шкоду рибним ресурсам водойм і ставить під загрозу можливість не тільки розвивати рибну галузь, розводивши рибу штучно, але і просто її виловлювати. Незаперечний факт, що в багатьох рибних водоймах кількість водних гідробіонтів скоротилася, а деякі види зникли зовсім. Все це вимушує робити заходи щодо поліпшення екологічного стану прісних водойм. Глобальною проблемою є забруднення. Крім природного забруднення, є антропогенне, викликане людською діяльністю.

Оцінка екологічного стану водойм вимагає складних лабораторних досліджень. В даний час відомо більше 400 речовин і з'єднань, здатних викликати погіршення стану природних вод. Практично всі водойми України наближаються до 4-го та 5-го класів якості, тобто характеризуються як забруднені й брудні. Завдяки такому забрудненню, що постійно розвивається, агресивному і багатогранному, проблема якості водних ресурсів стала гострою, особливо в більш урбанізованих зонах країни.

Розповсюджені класичні лабораторні методи збору інформації про вміст забруднюючих речовин та динаміці екологічної обстановки у прісних водоймах мають суттєві недоліки.

Багато з лабораторій оснащені застарілими засобами пробовідбору і аналітичними приладами. Тому низка з токсичних речовин в цих умовах не визначається. Методи аналізу і апаратура розробляються і випускаються численними, не пов'язаними одне з одним підприємствами, компаніями, у яких немає єдиної методологічної бази. Відокремленість розробників і споживачів методів і засобів екологічного контролю заважає забезпеченню єдності й правильності вимірів. Таким чином, наразі потрібним є розробка і впровадження комп'ютеризованих багатоцільових еколого-аналітичних компонентів з високочутливими і виборчими методами аналізу, уніфікованих стандартних пристроїв.

В теперішній час деякі зарубіжні компанії пропонують комплексні станції моніторингу якості води. Наприклад, комплексна станція компанії ВВЕ Moldaenke GmbH (ФРН).

Проте, закупівля і експлуатація відомих станцій вимагає значних фінансових вкладень. Крім цього, станції мають і технічні недоліки, головними з яких є слабка відтворюваність параметрів вимірювання та зниження надійності.

Важливим питанням екологічного моніторингу стану біоти прісних водойм залишається аналіз захищеності водного дзеркала і невдосконалість методів бездротової передачі та захисту даних моніторингу.

Слід також відзначити, що недостатньо вирішені питання автоматизації процедур ухвалення рішень в області управління радіаційною безпекою, через що отримувана інформація про реальну і прогнозовану обстановку використовується із запізненням і неефективно.

Тому в ході даної роботи розробляються засоби автоматизованого еколого-аналітичного моніторингу стану прісних водойм, який окрім розпізнавання результатів аналізу і усунення людського чинника при обробці інформації, має низьку вартість у виготовленні й експлуатації.

Над проблемою розвитку систем екологічного моніторингу прісних водойм активно працюють низка закладів та науковців як в Україні, так і за її межами, зокрема Брагінський Л.П., Оксіюк О.П., Розорінов Г.М., Романенко В.Д., Чичикало Н.І., Федоров Є.Є., Герасімов Ю.Л., Кашулін Н.О., Blancher E.C., Davies P.E., Schofield N.J., Ravera O. та інші.

Аналіз публікацій останніх років, тема яких присвячена екологічному моніторингу окремих урбанізованих екосистем, свідчить про актуальність і затребуваність цього напрямку.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано згідно з Програмою ЄС "Горизонт 2020" (Закон України від 15.07.15 № 604-VIII) і вона тісно пов'язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури, які виконувались на замовлення Міністерства освіти і науки України (державний реєстраційний №0102U101145), та згідно з Меморандумом щодо спільної наукової, науково-технічної і освітньої діяльності з розв'язання проблем, пов'язаних зі сталим розвитком територій, постраждалих від катастроф природного та техногенного характеру (м. Славутич, від 01.06.2017 р.) на кафедрі охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України. Експериментальні дослідження виконані на кафедрі охорони праці та навколишнього середовища КНУБА.

**Мета роботи і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка системи екологічного моніторингу стану екосистеми урбанізованих прісних водойм шляхом об'єктивної оцінки екологічної ситуації і для оптимізації умов виробництва товарної риби на основі використання комп'ютерно-математичного моделювання.

Для досягнення зазначеної мети вирішуються такі наукові завдання:

- аналіз існуючих факторів забруднення прісноводних урбанізованих екосистем;
- обґрунтування інформаційної бази інструментальних засобів для реалізації моніторингу стану екосистеми прісних водойм;
- розробка структури і фізичної моделі системи екологічного моніторингу, придатної для експлуатації в рибоводних зонах;
- розробка комп'ютерно-математичної моделі системи екологічного моніторингу та отримання інформації, що відповідає критеріям мінімуму контрольованих параметрів і максимуму інформативності;
- проведення обробки експериментальних даних і розробка методів для ідентифікації отриманих результатів, підвищення точності контролю параметрів і охорони екосистеми;

– розробка програмного забезпечення для реалізації отриманих методів моніторингу стану екосистеми і створення віртуальної моделі для оцінки адекватності розроблених засобів і методів в LabVIEW.

– розробка підсистеми охорони та відновлення водних екосистем після радіоактивного забруднення, та метода швидкого і достовірного вимірювання малих інтенсивностей іонізуючих випромінювань.

**Об'єктом дослідження** є процес отримання екологічної інформації про стан біоти прісних водойм.

**Предметом дослідження** є екологічний стан прісноводної урбанізованої екосистеми.

**Методи дослідження.** При виконанні роботи використовувалися теоретичні й експериментальні методи досліджень. Теоретичні дослідження включали комп'ютерно-математичне моделювання, апарат лінійної алгебри, чисельні методи, методи спектрального аналізу, положення теорії інформації та кодування. Запропоновані методи і технології досліджувалися експериментально з використанням сучасного устаткування.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати:

– покращений моніторинг прісноводних урбанізованих екосистем методом комп'ютерно-математичного моделювання, що базується на мінімальній кількості контрольованих незалежних параметрів та їх максимальній інформативності, а саме: температурі шарів водного середовища, звукових сигналах біоти, кисневому режимі, захищеності водного дзеркала;

– удосконалений метод визначення кисневого режиму прісної водойми, який оснований на контролі розчиненого кисню на поверхні водойми і в двох точках по глибині, а саме, на відстані 20...25 см від поверхні й 50...100 см від дна водойми;

– набув подальшого розвитку метод виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу та розроблено принципи ідентифікації акустичних образів риб у водоймі. Показано, що акустичний сигнал можна відобразити у вигляді вектора номерів кодових векторів, що в значній мірі підвищує точність вимірювань;

– уперше запропонований, обґрунтований і експериментально перевірений метод моніторингу інтенсивностей іонізуючих випромінювань, заснований на вимірюванні часових характеристик  $n$ -вимірних функцій розподілу імовірностей інтервалів між імпульсами, що виробляються детекторами випромінювань.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

– експериментально встановлена мінімальна кількість датчиків для визначення виду розподілу температурного поля за глибиною прісної водойми із співвідношення складність–вартість;

– розроблений датчик для моніторингу температур у водних шарах водойми з абсолютною похибкою не більше  $0,01^{\circ}\text{C}$ , який не потребує обслуговування, стійкий до обростання, з надійним зніманням даних;

- розроблено канал отримання акустичної інформації з водойми на базі акустичного датчика і комп'ютерної звукової карти;

- за допомогою графічного програмування в середовищі LabVIEW розроблений віртуальний прилад для моніторингу акустичних сигналів;

- покращено охорону прісної водойми з виробничими майданчиками, за рахунок точного розпізнавання типових акустичних образів, а саме: плескоти весла, людської мови, ударів по приводному елементу, і реакції на них акустичного датчика при різних зануреннях приводного елемента – в воду, в землю, в повітря;

- розроблено підсистему екологічного моніторингу параметрів водойми в залежності від типу риборозплідника та схему установки вимірювальних засобів і зв'язку з керуючим комплексом;

- удосконалено методи передачі та захисту даних в радіоканалі при дистанційному керуванні стаціонарними і рухомими об'єктами водойми.

Основні результати роботи апробовані та впроваджені в навчальний процес кафедри охорони праці та навколишнього середовища КНУБА в навчальних дисциплінах "Загальна екологія", "Гідробіологія", у вигляді програм для розрахунку акустичних сигналів водойми на базі швидкого перетворення Фур'є і дискретного вейвлет перетворення. В Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику впроваджена автоматизована система контролю і управління параметрами біоти прісних водоймищ (Акт №01-21/996 від 27.04.2017 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Сформульовані в дисертації наукові результати, висновки, рекомендації і пропозиції, які винесені на захист, отримані безпосередньо і особисто здобувачем. В опублікованих роботах, які виконані разом із співавторами, здобувачу належать: [1] – модифікація методу розпізнавання акустичних образів риб; [2] – обґрунтування і розробка індуктивного датчика температури; [3] – методика вимірювання вмісту кисню у водоймі; [4] – автоматизація моніторингу екосистеми прісної водойми; [5] – реалізація високоточного ЯКР-термометра; [6] – програмна реалізація системи захисту даних моніторингу; [7] – вимірювання малих інтенсивностей іонізуючих випромінювань; [8] – дослідження засобів контролю наявності й напрямку руху води; [9] – розробка датчика тиску; [10] – розробка концепцій професійного проектування акустичних приладів і систем; [11, 12] – розробка елементів автоматизованої системи керування параметрами біоти прісних водойм; [13, 14] – методика вимірювання інтенсивностей іонізуючих випромінювань; [15–17] – оцінка точності та форми представлення сигналів системи моніторингу стану водного середовища прісної водойми.

У практичних результатах автор брав безпосередню участь як виконавець.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи докладалися і обговорювалися на міжнародних конференціях і семінарах: 2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT 2017), (Lviv, Ukraine, 2017); 2 Міжнародній науково-технічній конференції (INUDECO), (м. Славутич, 2017); 3 Міжнародній науково-технічній конференції (INUDECO), (м. Славутич,

2018); 4 Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині метрології (м. Київ, 2018); International scientific and practical conference (Wloclawek, Republic of Poland, 2019); 5-th International scientific and practical conference (Osaka, Japan, 2020).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць. З них: 8 статей, зокрема 6 – у фахових виданнях України, що також входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 2 – у інших наукових виданнях України (1 з яких індексується у наукометричній базі Index Copernicus), 1 патент на корисну модель, 1 навчальний посібник, 7 публікацій матеріалів доповідей на міжнародних і вітчизняних конференціях, зокрема 1 – у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 161 сторінках друкованого тексту основної частини, яка складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків. Повний обсяг дисертації становить 198 сторінок і включає 86 рисунків, 11 таблиць, список використаних джерел з 143 найменувань на 13 сторінках та 2 додатки на 11 сторінках.

## ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, наведені дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, наведені дані про їх апробацію, публікацію та впровадження.

**У першому розділі** проаналізовано існуючі методи і засоби екологічного моніторингу параметрів біоти прісних водойм.

Постійний контроль за станом водних ресурсів має вирішальне значення для розробки ефективних заходів по їх використанню і прийняттю керуючих рішень, що пов'язані з ними.

Проаналізовано відомі концепції екологічного моніторингу, як системи спостережень, яка дозволяє виділити зміни стану (і перш за все забруднення) біосфери під впливом людської діяльності (Ю.А. Ізраель), як системи спостереження та контролю стану навколишнього природного середовища з метою раціонального використання природних ресурсів (І.П. Герасимов), як комплексний геоecологічний контроль стану природного середовища (О.Г. Ємельянов).

Забруднення водних ресурсів можна розподілити на такі типи: механічне – підвищення змісту механічних домішок, властиве в основному поверхневим видам забруднень; хімічне – наявність у воді органічних і неорганічних речовин токсичної і нетоксичної дії; бактеріальне і біологічне – наявність у воді різноманітних патогенних мікроорганізмів, грибів і дрібних водоростей; радіоактивне – присутність радіоактивних речовин у воді; теплове – випуск у водойми підігрітих вод теплових і атомних електростанцій.

Не дивлячись на складність водних екосистем, стан кожної з них зумовлюється одними і тими ж основними факторами, їх сумарною дією –

природними геологічними, гідрогеологічними і географічними факторами, а також антропогенним впливом.

Найважливішим наслідком забруднення води є те, що, потрапляючи у водойми, забруднювальні речовини спричинюють зміни її фізичних властивостей (прозорості, запаху, присмаку) та хімічного складу (кислотності, кількості органічних та мінеральних домішок, вмісту отруйних речовин тощо), зменшення вмісту кисню у воді, зміни кількості й видового складу мікроорганізмів, появу хвороботворних бактерій.

Докладно аналізуються характеристики вирощувальних і нагульних площ, особливості садкового і басейнового рибництва, екологічні групи і види формування поголів'я вирощуваної риби.

Значну увагу приділено фізичним параметрам води і особливостям сприйняття рибою деяких фізичних параметрів та їх впливу на ріст і розвиток риби. Показано, що звукові коливання є важливою складовою екологічного моніторингу стану біоти прісних водойм.

На основі аналізу літературних джерел сформульовані завдання дисертаційного дослідження.

**Другий розділ** присвячено теоретичним і експериментальним дослідженням прісноводних урбанізованих екосистем. Показано, що дуже важливим є вибір мінімальної кількості незалежних контрольованих параметрів для екосистеми прісних водойм.

Отримання необхідної інформації пов'язане з виконанням двох критеріїв, що пред'являються до комп'ютерно-математичної моделі системи екологічного моніторингу (СЕМ) і забезпечення її охорони. Це, по-перше, мінімізація кількості контрольованих незалежних параметрів  $МОД_{СЕМ}(F_{СЕМ})$ , а по-друге, максимізація інформативності даних  $МОД_{ИНФ}(F_{СЕМ})$ . Тобто оцінювати екологічний моніторинг стану біоти прісної водойми необхідно на основі виділення основних параметрів:

$$\begin{aligned} МОД_{СЕМ}\{F_{СЕМ}(X_T, X_{ЗС}, S)\} &\rightarrow \min \\ МОД_{ИНФ}\{F_{СЕМ}(X_T, X_{ЗС}, S)\} &\rightarrow \max \end{aligned} \quad (1)$$

де  $F_{СЕМ}$  – результат ухвалення рішення СЕМ на основі значень вхідних змінних  $X_T, X_{ЗС}, S$ ;  $X_T$  – температура шарів водного середовища,  $X_{ЗС}$  – звукові сигнали біоти,  $S$  – параметр охорони екосистеми.

Структурна схема СЕМ стану біоти прісної водойми показана на рис. 1.

Роботою СЕМ керує мікроконтролер обробки і передачі цифрових даних. Алгоритм роботи мікроконтролера передбачає управління роботою модулів підключення чутливих елементів і прийомо-передавального пристрою. Як чутливий елемент для вимірювання температури використаний високочастотний індуктивний датчик, що представляє собою котушку індуктивності, намотану на стрижневому осерді. Котушка індуктивності включена в контур автогенератора. Матеріалом осердя служить термомагнітний матеріал – термаллой.



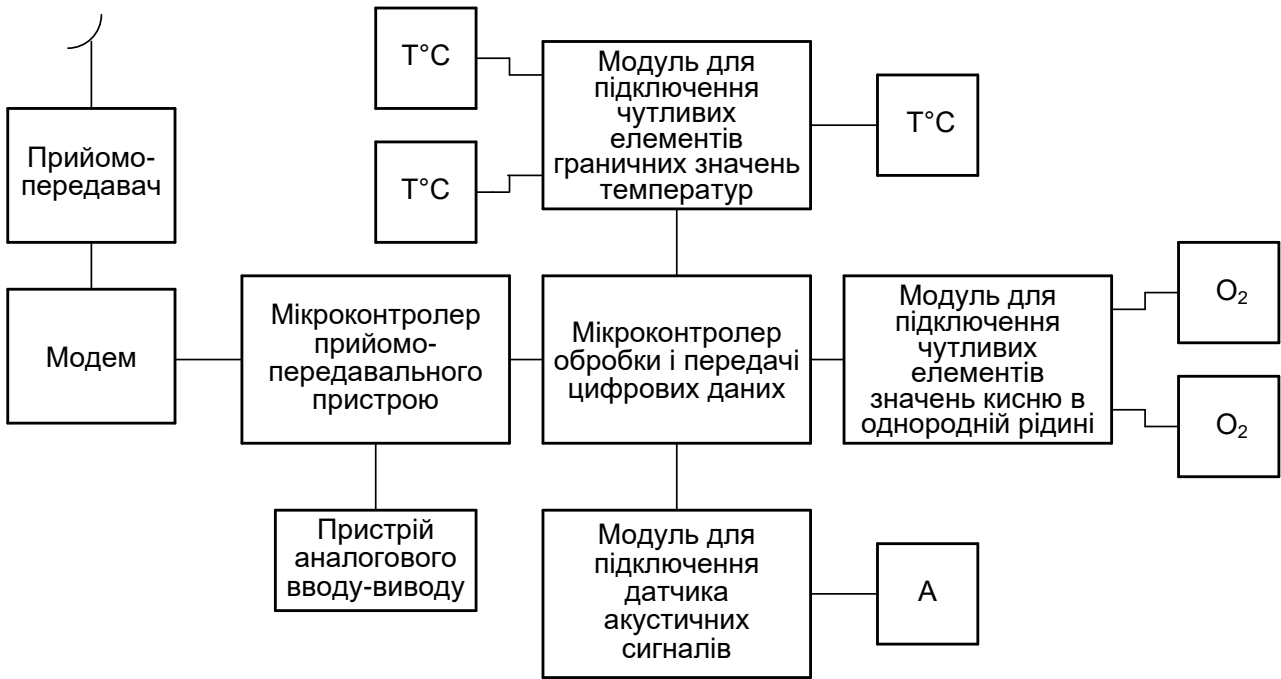


Рисунок 1 – Структурна схема моніторингу стану біоти прісної водойми

Принцип дії заснований на зміні індуктивності датчика за рахунок зміни магнітної проникності осердя при зміні вимірюваної температури (рис. 2).

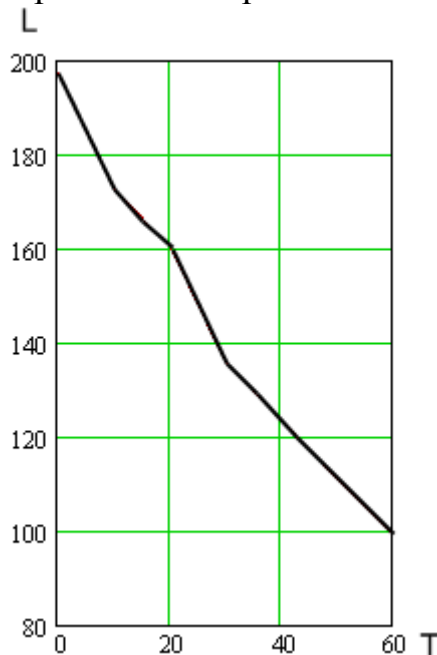


Рисунок 2 – Залежність індуктивності котушки від температури, °C

Відповідно частота генератора змінюється пропорційно зміні температури водних шарів.

Для визначення виду розподілу температурного поля за глибиною прісної водойми із співвідношення складність–вартість достатньо мати 8 датчиків температури вимірювального пристрою.

Побудована підсистема визначення кисневого режиму прісної водойми. Надходження кисню відбувається шляхом розчинення його при контакті з

повітрям (абсорбції), в результаті фотосинтезу водоростями, фізико-хімічних і біохімічних процесів, з дощовими і сніговими водами, тощо.

Показано, що досить контролювати розчинений кисень на поверхні водойми і в двох точках по глибині, а саме, на відстані 20...25 см від поверхні й 50...100 см від дна водойми. При цьому абсолютна похибка датчика контролю температури повинна бути не більше  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Датчик розчиненого кисню повинен відповідати таким вимогам: несприйнятливість до каламутності, майже повну нечутливість до зовнішнього забруднення і обростання, мінімальний вплив тиску, прискорений час експозиції.

Інформація про звукоутворення у водоймі та інформація, що стосується захисту водного дзеркала отримується за допомогою акустичного датчика і комп'ютерної звукової карти. При цьому суттєвим чином використовуються принципи розпізнавання акустичних образів. На рис. 3 показаний канал перетворення сигналу за допомогою акустичного датчика і звукової карти.

Робота детекторів акустичних образів звичайно заснована на відмінностях спектральних характеристик інформаційного сигналу і шуму. До недоліків таких детекторів відноситься тривала адаптація до зовнішнього шуму.

Відомі також детектори, де як основні параметри використовуються: період основної гармоніки (ОГ), середнє значення, кількість строгих мінімумів, кількість нестрогих мінімумів. Але в них відсутня можливість точно визначати границі акустичного сигналу при тривалому високорівневому шумі, який накладається на сигнал, і відсутнє очищення такого сигналу.

У даній роботі пропонується удосконалення визначення ОГ акустичного сигналу. Для цього вимірюється період основного коливання сигналу, який отримують методом вейвлет перетворення (ВП) з дискретними параметрами для частотного діапазону, який встановлюють на  $\mu$ -му рівні вейвлет розкладання, завдяки чому досягають незалежного від шуму результату.

Показано, що моніторинг акустичних сигналів раціонально виконувати за допомогою графічного програмування в середовищі LabVIEW. Віртуальний прилад (ВП) є невід'ємною інформативною частиною в дослідженнях акустичних коливань.

Як інформаційний сигнал обраний акустичний сигнал SB, що надходить на вхід звукової карти (рис. 4).

У середовищі LabVIEW були реалізовані алгоритми для представлення сигналів у вигляді осцилограм і енергетичних спектрів. За наведеною методикою виконано спектральний аналіз сигналів, які надходять від водойми. Використовуючи дистрибутив програми та розміщуючи його в ВП, проаналізовано інформацію в реальному часі.

Покращено охорону прісної водойми з виробничими майданчиками, за рахунок точного розпізнавання типових акустичних образів, а саме: плескоти весла, людської мови, ударів по приводному елементу, і реакції на них акустичного датчика при різних зануреннях приводного елемента – в воду, в землю, в повітря.

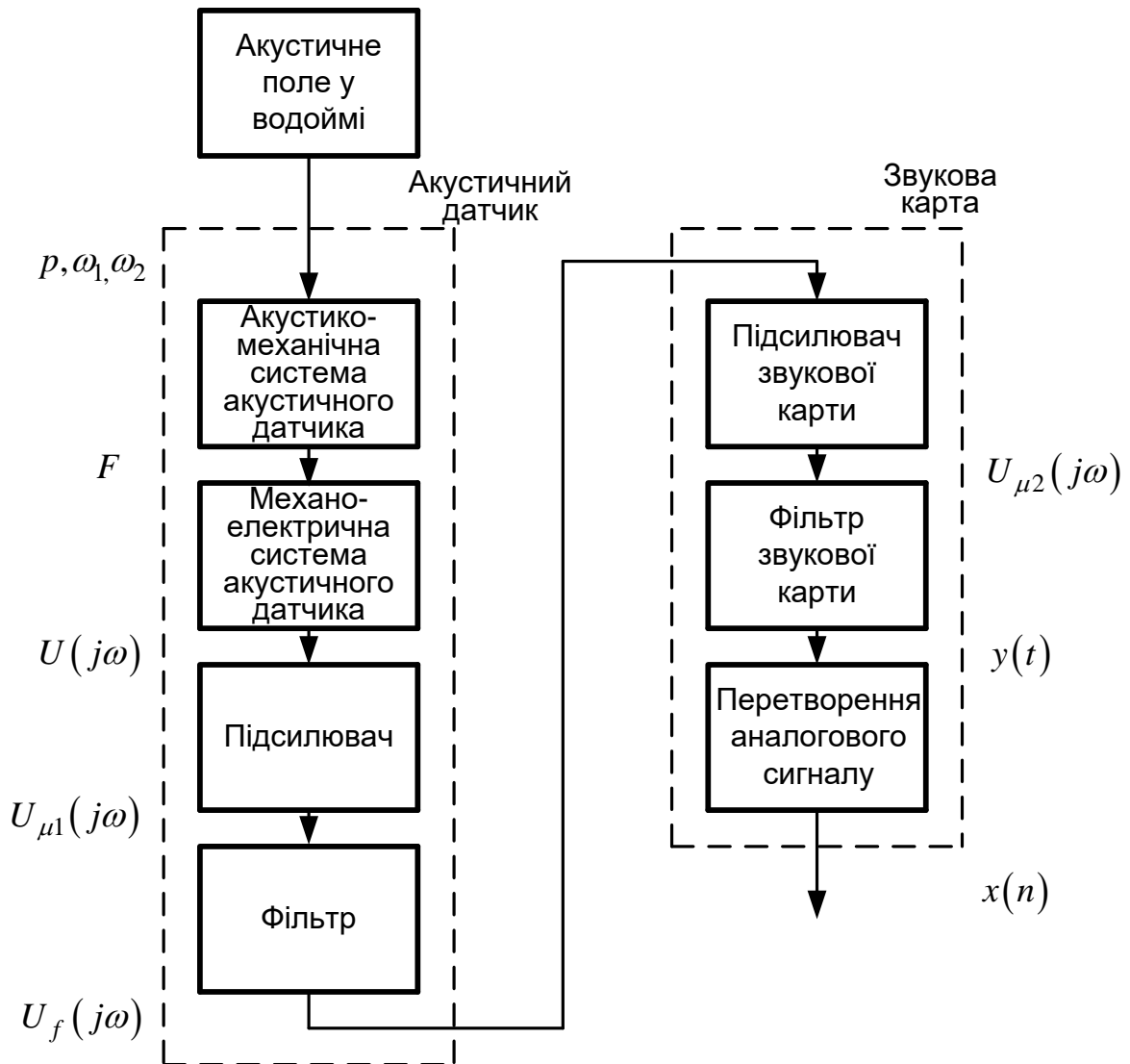


Рисунок 3 – Канал перетворення акустичного сигналу

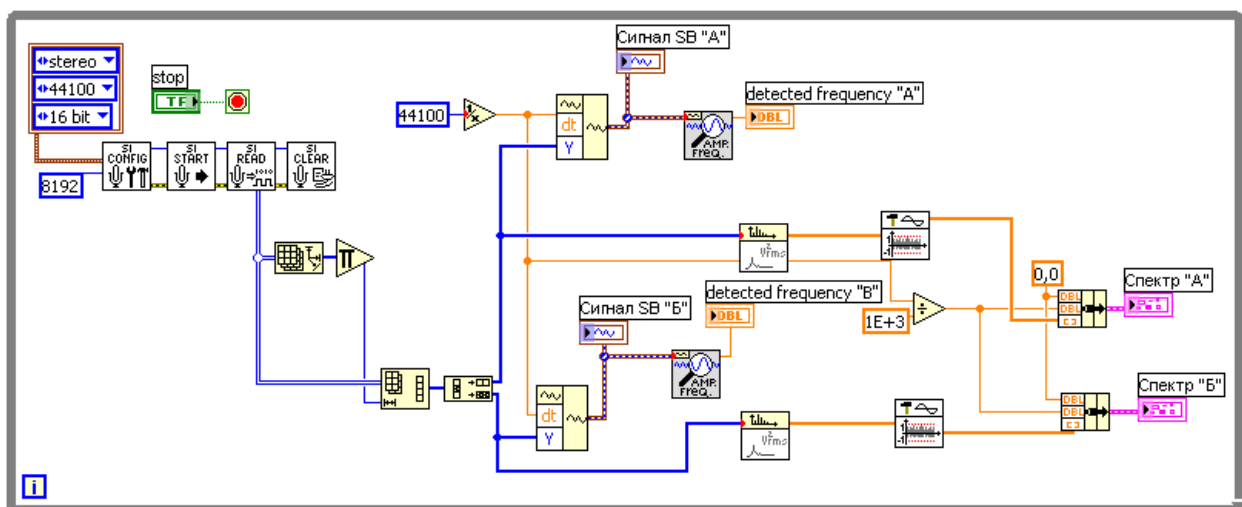


Рисунок 4 – Віртуальний прилад для акустичного моніторингу

Розроблено підсистему екологічного моніторингу параметрів водойми в залежності від типу риборозплідника та схему установки вимірювальних засобів і зв'язку з керуючим комплексом. Устаткування розташовується з трьох

сторін поблизу плавучих кошів, які встановлюються в водоймі на розтяжках якорями (рис. 5).

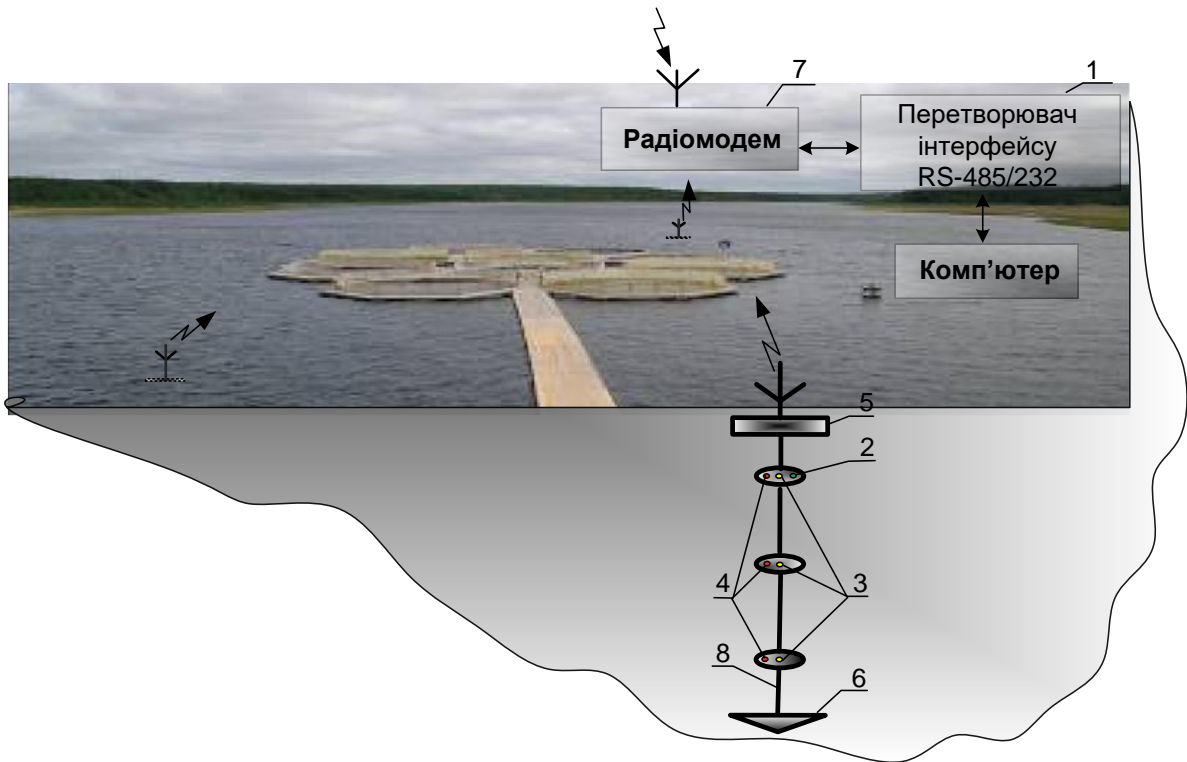


Рисунок 5 – Підсистема екологічного моніторингу параметрів водойми

Удосконалено методи передачі та захисту даних в радіоканалі при дистанційному керуванні стаціонарними і рухомими об'єктами водойми. Дані від датчиків через ущільнювач і систему перетворювачів надходять на радіомодем. Антена радіомодему розміщена на плавучому буї. Об'єднані та уніфіковані сигнали передаються на керуючий комплекс, де отримані дані обробляються і аналізуються.

**У третьому розділі** розглянуті питання локалізації інформативних сигналів по характеристикам перетворення встановлених датчиків і їх відповідності дійсним значенням.

На рис. 6, 7 надано приклади форм сигналів і їх енергетичних спектрів на виході генератора і на виході випрямляча датчика температури, отримані за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) и дискретного вейвлет перетворення (ДВП) при різних значеннях індуктивності датчика.

Період основної гармоніки, виражений у вигляді нормованого часу  $\tilde{n}$ , вимірюється як тривалість коливання вейвлет спектра  $d_{\mu l}$  на рівні розкладання

$\mu$ :

$$(d_{\mu j-1} \leq d_{\mu j} \geq d_{\mu, j+1} \wedge d_{\mu, m-1} \leq d_{\mu m} \geq d_{\mu, m+1} \wedge d_{\mu, k-1} \leq d_{\mu k} \geq d_{\mu, k+1} \wedge (j < k < m) \rightarrow \tilde{n} = m - j, \quad (2)$$

тобто, якщо знайдений перший максимум  $d_{\mu, j}$  і знайдений другий максимум

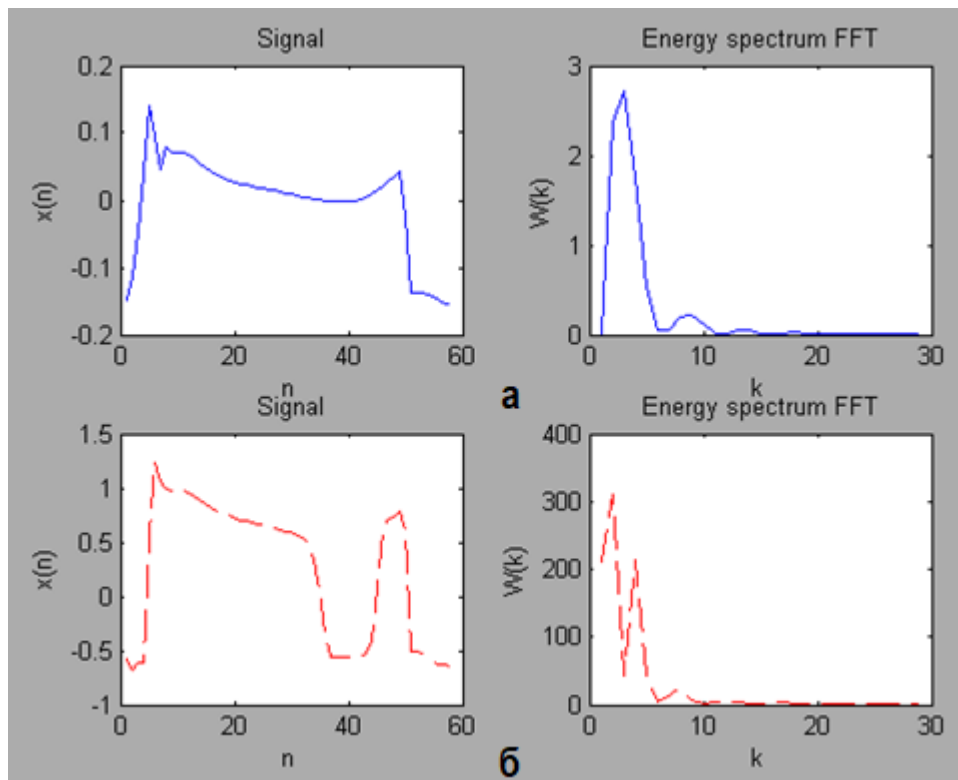


Рисунок 6 – Сигнали та їх ШПФ при значенні індуктивності 123 мкГн на виході: а – генератора, б – випрямляча

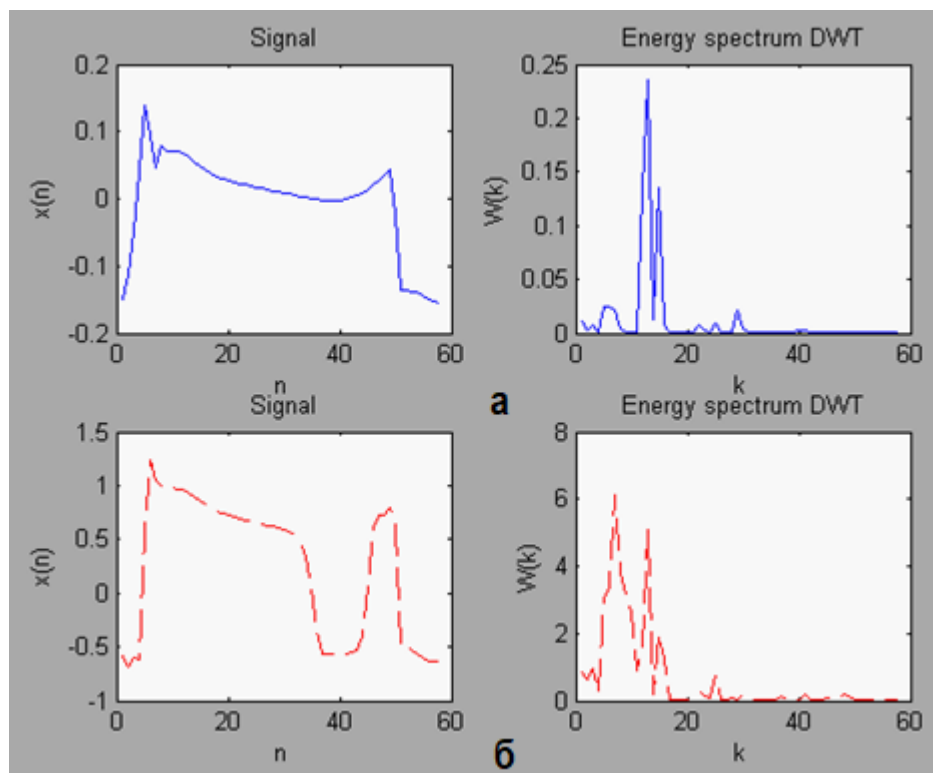


Рисунок 7 – Сигнали та їх ДВП при значенні індуктивності 123 мкГн та  $k=5$ ,  $W(k)=0,025310$ ;  $k=13$ ,  $W(k)=0,235970$ ;  $k=15$ ,  $W(k)=0,135771$  на виході: а – генератора, б – випрямляча

$d_{\mu,m}$ , за відсутності третього максимуму між ними  $d_{\mu,k}$  лежать в діапазоні  $j < k < m$ , тоді  $\tilde{n}$  визначається в цьому діапазоні.

Зміряний період основної гармоніки використовується для ідентифікації рівня сигналу, відповідного значенню вимірюваного параметра.

Перевірена точність запропонованого метода вимірювання періоду основної гармоніки, який повинен задовольняти умові:

$$T_{\text{ОГ}} = \begin{cases} \tilde{n}, & n_1 \leq \tilde{n} \leq n_2 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (3)$$

де  $n_1$  – мінімальна довжина періоду основної гармоніки  $n_1 = \inf T_{\text{ОГ}}$ ,  $n_2$  – максимальна довжина періоду основної гармоніки  $n_2 = \sup T_{\text{ОГ}}$ .

Із експериментальних енергетичних спектрів визначаються значення  $k$ , при яких виявляються максимуми. Вигляд цих залежностей визначається інтегральною функцією перетворення  $I = F(L) \equiv F(T)$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Інтегральна функція перетворення

$I$ , мА	2,111	0,596	0,437	0,344	0,284	0,241	0,185	0,058	0,000
$L$ , мГн	0,125	0,123	0,122	0,121	0,120	0,119	0,117	0,100	0,090

Лінійним ділянкам функції відповідає, наприклад, енергетичний спектр ШПФ, представлений на рис. 6. Його аналіз виконується за допомогою перетворення Фур'є. Для решти інших енергетичних спектрів, наприклад, наданого на рис. 7 більш інформативним є ДВП, оскільки у них однорідніше часове уявлення.

В роботі показано, що акустичний сигнал можна також відобразити у вигляді вектора номерів кодових векторів. Перевага такого уявлення полягає в тому, що при цьому не потрібний набір фільтрів, не потрібні виділення інформативних смуг і настройка набору смугових фільтрів, зокрема не потрібний аналіз смуги пропускання, що в значній мірі підвищує точність вимірювань.

Розроблена модель перетворення сигналу для датчика температури на основі термаллоєвого осердя. Як генератор використана схема Колпітца, в коливальний контур якої включена котушка з термаллоєвим осердям. На виході генератора формується періодичний негармонічний сигнал складної форми.

Запропоновано математичні моделі індуктивних котушок для різних видів осердь датчиків температури водойми. Змінюючи властивості осердя і параметри вимірювального перетворювача, будуються датчики температури з сильно вираженою залежністю  $\mu = f(T)$ .

Побудована система захисту даних в радіоканалі при дистанційному керуванні стаціонарними і рухомими об'єктами екосистеми, головними особливостями якої є: передача кожної команди за допомогою різних кодових комбінацій, які формуються різними алгоритмами; кожен екземпляр системи використовує свій індивідуальний закон зміни коду, який вибирається при

програмуванні системи; вартість пристроїв захисту у декілька разів менше вартості пристроїв із захистом KeeLoq або D2; технічна реалізація на контролерах, що підвищує його компактність і надійність.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню систем охорони та відновлення біоти прісних водойм після радіоактивного забруднення.

Показано, що охорона та відновлення екосистеми водойм після радіоактивного забруднення це багатоскладова система. Вона включає моніторинг повітря, поверхневих вод та осаду. Кожна складова аналізує свої незалежні параметри, але відповідає одним критеріям.

До основних критеріїв систем аналізу можна віднести: вибір відповідної стратегії для розміщення приладів моніторингу, місць відбору проб та методів забезпечення необхідної точності лабораторних вимірювань, раціональний підбір та розміщення вимірювальних ділянок, забезпечення конкретних геометричних та гідрологічних характеристик водних об'єктів, виконання вимог щодо належного усереднення вимірювань у часі та просторі, правильна фільтрація природних вод, використовуючи системи для їх концентрації, дотримання вимог аналітичних процедур, вибір відповідних методів відбору для дослідження радіонуклідів у воді.

Вперше запропонований, обґрунтований і експериментально перевірений метод моніторингу інтенсивності іонізуючих випромінювань, заснований на вимірюванні часових характеристик  $n$ -вимірних функцій розподілу імовірностей часових інтервалів між імпульсами, що виробляються детекторами випромінювань. Структурна схема вимірювача сумісних  $N$ -вимірних функцій розподілу імовірностей інтенсивності випромінювання надана на рис. 8.

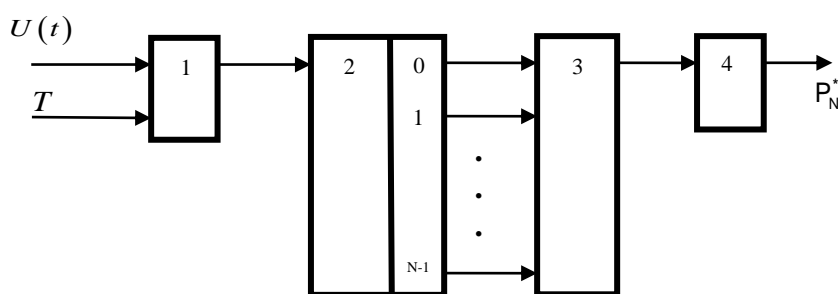


Рисунок 8 – Структурна схема вимірювача сумісних  $N$  – вимірних функцій

Оцінка  $N$ -вимірної функції розподілу інтенсивності випромінювання виконується за формулою

$$\begin{aligned}
 P_N^* \{t_{k+1} - t_k < T, t_{k+2} - t_{k+1} < T, \dots, t_{k+N} - t_{k+N-1} < T\} = \\
 = \frac{1}{M} \sum_{i=k}^{i=k+M-1} Y(t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+N-1}), k = 0, 1, \dots,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

де  $M$  – постійна накопичення.

Приклад вимірювання п'ятивимірної характеристики функції розподілу імовірностей для фонового випромінювання, у відсутність джерела випромінювання і при його наявності показаний на рис. 9.

Показано, що розроблений метод дозволяє швидко і достовірно виявляти випромінювання з інтенсивностями в десятки разів нижче за інтенсивність фонових випромінювань, навіть при високих інтенсивностях фонового випромінювання та істотно зменшує (у десятки разів) час аналізу радіоактивного забруднення екосистеми і знижує вимоги до екранування досліджуваних об'єктів від фонового випромінювання.

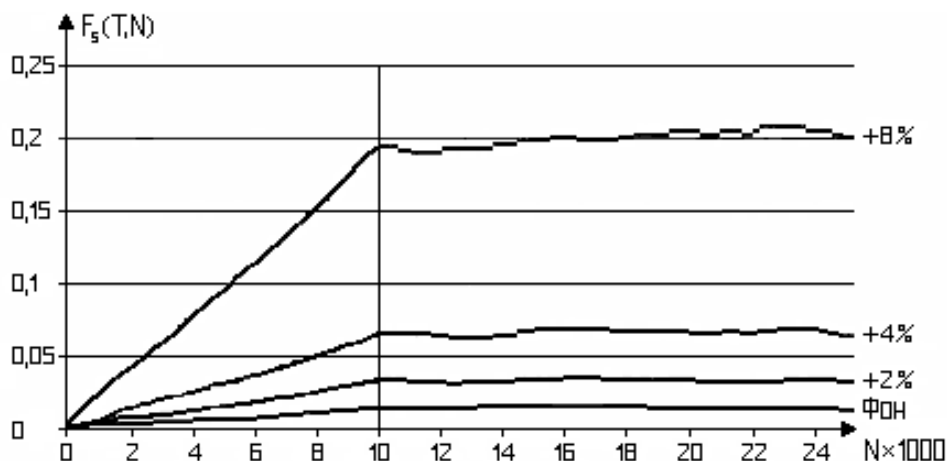


Рисунок 9 – П'ятивимірна характеристика функції розподілу імовірностей

Основні результати роботи апробовані та впроваджені в навчальний процес кафедри охорони праці та навколишнього середовища в навчальних дисциплінах "Загальна екологія", "Гідробіологія", у вигляді програм для розрахунку акустичних сигналів водойми на базі ШПФ і ДВП. В Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику впроваджена автоматизована система контролю і управління параметрами біоти прісних водоймищ (Акт №01-21/996 від 27.04.2017 р.).

Результати впровадження підтверджено відповідними актами. Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю результатів моделювання та експериментальних досліджень.

## ВИСНОВКИ

1. Покращено моніторинг прісноводних урбанізованих екосистем методом комп'ютерно-математичного моделювання, що базується на мінімальній кількості контрольованих незалежних параметрів та їх максимальній інформативності, а саме: температурі шарів водного середовища, звукових сигналах біоти, кисневому режимі, захищеності водного дзеркала.

2. Показано, що охорона та відновлення прісноводних урбанізованих екосистем після радіоактивного забруднення це багатоскладова система. Вона складається з моніторингу повітря, поверхневих вод та осадку.



Уперше запропоновано, теоретично обґрунтовано і експериментально перевірено метод моніторингу інтенсивностей іонізуючих випромінювань, заснований на вимірюванні часових характеристик  $n$ – вимірних функцій розподілу імовірностей часових інтервалів між імпульсами, що виробляються детекторами випромінювань.

3. Удосконалено метод визначення кисневого режиму прісної водойми, який оснований на контролі розчиненого кисню на поверхні водойми і в двох точках по глибині, а саме, на відстані 20...25 см від поверхні й 50...100 см від дна водойми.

4. Набув подальшого розвитку метод виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу та розроблено принципи ідентифікації акустичних образів риб у водоймі. Показано, що акустичний сигнал можна відобразити у вигляді вектора номерів кодових векторів, що в значній мірі підвищує точність вимірювань.

Розроблено канал отримання акустичної інформації з водойми на базі акустичного датчика і комп'ютерної звукової карти. За допомогою графічного програмування в середовищі LabVIEW розроблений віртуальний прилад для обробки акустичних сигналів.

5. Покращено охорону прісної водойми з виробничими майданчиками, за рахунок точного розпізнавання типових акустичних образів, а саме: плескоту весла, людської мови, ударів по приводному елементу, і реакції на них акустичного датчика при різних зануреннях приводного елемента – в воду, в землю, в повітря.

Розроблено підсистему моніторингу параметрів водойми в залежності від типу риборозплідника та схему установки вимірювальних засобів і зв'язку з керуючим комплексом. Удосконалено методи передачі та захисту даних в радіоканалі при дистанційному керуванні стаціонарними і рухомими об'єктами водойми.

6. Розроблено індуктивний датчик для моніторингу температур у водних шарах водойми з абсолютною похибкою не більше  $0,01^{\circ}\text{C}$ , який не потребує обслуговування, стійкий до обростання, із зручним і надійним зніманням даних. Як чутливий елемент використана котушка індуктивності з термаллоєвим осердям.

Експериментально встановлена мінімальна кількість датчиків для визначення виду розподілу температурного поля за глибиною прісної водойми із співвідношення складність–вартість.

7. Здійснено апробацію основних результатів роботи та їх впровадження в навчальний процес кафедри охорони праці та навколишнього середовища КНУБА в навчальних дисциплінах "Загальна екологія", "Гідробіологія", у вигляді програм для розрахунку акустичних сигналів водойми на базі ШПФ і ДВП. В Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику впроваджена автоматизована система контролю і управління параметрами біоти прісних водоймищ (Акт №01-21/996 від 27.04.2017 р.).

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

### *Публікації у наукових фахових виданнях України:*

1. Ткаченко Т.М. Розпізнавання акустичних образів риб при моніторингу прісноводних екосистем / Т.М. Ткаченко, Ю.Г. Пількевич, Г.М. Розорінов. *Екологічна безпека та природокористування*. 2021. Вип. 1 (37). С. 20 – 34. (Index Copernicus).

2. Пількевич Ю.Г. Датчик для вимірювання температури в прісних водоймах / Ю.Г.Пількевич, Г.М.Розорінов. *Екологічні науки*. 2020. Вип. 6 (33). С. 74 – 82. (Index Copernicus).

3. Пількевич Ю.Г. Вимірювання вмісту розчиненого у прісній водіймі кисню / Ю.Г.Пількевич, Г.М.Розорінов, Т.М. Ткаченко. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2021. №2 (90). URL: <http://doi.org/10.31548/dopovidi2021.02.003>. (Index Copernicus).

4. Пількевич Ю.Г. Автоматизація моніторингу екосистеми прісної водойми / Ю.Г.Пількевич, Г.М.Розорінов. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського*. Серія "Технічні науки", Том 31(70), № 6. Частина 1. 2020. С. 123 – 128. (Index Copernicus).

5. Ткаченко Т.М. Високоточний ядерно-квадрупольно-резонансний термометр для аерогідродинамічних досліджень / Т.М.Ткаченко, Ю.Г.Пількевич, В.О. Мілейковський. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2020. – Вип. 35. С. 34 – 40. (Index Copernicus).

6. Гресь О.В. Програмна реалізація системи потокового шифрування і інформації на основі дискретних відображень / О.В.Гресь, Г.М.Розорінов, Ю.Г.Пількевич, М.Ю.Костяк, Л.Т.Пархуць. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2020. №1. С. 60 – 66. (Index Copernicus).

7. Пількевич Ю.Г. Радіоактивне забруднення риби і вимірювання малих інтенсивностей іонізуючих випромінювань / Ю.Г.Пількевич, Г.М.Розорінов, Т.М. Ткаченко. *Молодий вчений*. 2021. №5 (93). С. 14 – 19. (Index Copernicus).

8. Ларин В.Ю. Исследование способов построения средств контроля наличия и направления движения воды в трубах шахтных водоотливных установок / В.Ю. Ларин, Н.И. Чичикало, Г.Н. Розоринов, Е.Ю. Ларина, Ю.Г. Пилькевич. *Уголь України*. 2018. № 1–2. С. 22 – 28.

### *Патенти:*

9. Патент України на корисну модель № 124620, МПК G01L 9/16 (2006.01). Датчик тиску / Ю.Г. Пількевич, К.Ю. Ларіна, В.Ю. Ларін, Г.М. Розорінов, Н.І. Чичикало. Заявники і патентовласники Ю.Г. Пількевич, К.Ю. Ларіна, В.Ю. Ларін, Г.М. Розорінов, Н.І. Чичикало. Опубл. 10.04.2018, Бюл. № 7.

### *Навчальні посібники:*

10. Ларин В.Ю. Концепции профессионального проектирования приборов и систем / В.Ю. Ларин, Е.Ю. Ларина, Ю.Г. Пилькевич, Г.Н. Розоринов, Н.И. Чичикало, Е.Е. Федоров. Учебник в 2-х книгах. Книга 2. К.: ЦП "Компринт". 2018. 507 с.

**Публікації апробаційного характеру в матеріалах конференцій:**

11. Rozorinov H. Features virtualization software telecommunications networks by means of simulation riverbed modeler / H. Rozorinov, K. Trapezon, A. Vlasjuk, N. Chichikalo, A. Fendri, Yu. Pilkevich // 2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT 2017). 4–7 July 2017. Lviv, Ukraine. PP. 246–249. (Scopus).

12. Пилькевич Ю.Г., Розорин Г.Н. Автоматизированная система управления параметрами биоты пресных водоемов Чернобыльского региона. *Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО): праці 2 міжнар. наук.-техн. конф. (Славутич, 25–27 квітня 2017 р.)*. Славутич, 2017. С. 220–230.

13. Розорин Г.Н., Пилькевич Ю.Г. Новая методика измерения малых интенсивностей ионизирующих излучений. *Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО): праці 3 міжнар. наук.-техн. конф. (Славутич, 25–27 квітня 2018 р.)*. Славутич, 2018. С. 288–294.

14. Пилькевич Ю.Г. Розорин Г.М. Вплив іонізуючого випромінювання на системи відеоспостереження. *Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО): праці IV міжнар. наук.-техн. конф. (Славутич, 24–26 квітня 2019 р.)*. Чернігів: ЧНТУ, 2019. С. 205–213.

15. Пилькевич Ю.Г., Ларина Е.Ю., Ларин В.Ю., Чичикало Н.И., Розорин Г.Н. Оценка точности и формы представления показателей точности измерений системы контроля состояния водной среды пресного водоема. *Technical using of measurement–2018: матеріали 4 всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології (Київ, 13–18 лютого 2018 р.)*, Київ, 2018. С. 115–118.

16. Пилькевич Ю.Г., Розорин Г.М. Разработка математических моделей индуктивных катушек для разных видов осердья. *Technical science: history, the present time, the future, EU experience: Proceedings of International scientific and practical conference (Wloclawek, 27–28 September 2019)*, Wloclawek, Republic of Poland, 2019. PP. 78–82.

17. Розорин Г.Н., Пилькевич Ю.Г. Измеритель интенсивности ионизирующих излучений. *Perspectives of world science and education: Proceedings of 5-th International scientific and practical conference. (Osaka, Japan, 29–31 January 2020)*. Osaka, 2020. PP. 703–707.

## АНОТАЦІЯ

Пилькевич Ю.Г. Моніторинг прісноводних урбанізованих екосистем методом комп'ютерно-математичного моделювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Київський національний

університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2021.

Дисертація присвячена теоретичному і експериментальному дослідженню системи екологічного моніторингу стану біоти урбанізованих прісних водойм на основі об'єктивної оцінки екологічної ситуації і оптимізації умов виробництва товарної риби шляхом використання комп'ютерно-математичного моделювання.

Покращений моніторинг прісноводних урбанізованих екосистем методом комп'ютерно-математичного моделювання, що базується на мінімальній кількості контрольованих незалежних параметрів та їх максимальній інформативності, а саме: температурі шарів водного середовища, звукових сигналах біоти, кисневому режимі, захищеності водного дзеркала.

Уперше запропонований, теоретично обґрунтований і експериментально перевірений метод моніторингу інтенсивностей іонізуючих випромінювань, заснований на вимірюванні часових характеристик  $n$ – вимірних функцій розподілу імовірностей часових інтервалів між імпульсами, що виробляються детекторами випромінювань.

Удосконалений метод визначення кисневого режиму прісної водойми, який оснований на контролі розчиненого кисню на поверхні водойми і в двох точках по глибині, а саме, на відстані 20...25 см від поверхні й 50...100 см від дна водойми.

Набув подальшого розвитку метод виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу та розроблено принципи ідентифікації акустичних образів риб у водоймі. Показано, що акустичний сигнал можна відобразити у вигляді вектора номерів кодових векторів, що в значній мірі підвищує точність вимірювань.

Розроблено канал отримання акустичної інформації з водойми на базі акустичного датчика і комп'ютерної звукової карти. За допомогою графічного програмування в середовищі LabVIEW розроблений віртуальний прилад для обробки акустичних сигналів.

Покращено охорону прісної водойми з виробничими майданчиками, за рахунок точного розпізнавання типових акустичних образів, а саме: плескоти весла, людської мови, ударів по приводному елементу, і реакції на них акустичного датчика при різних зануреннях приводного елемента – в воду, в землю, в повітря.

Розроблено підсистему моніторингу параметрів водойми в залежності від типу риборозплідника та схему установки вимірювальних засобів і зв'язку з керуючим комплексом. Удосконалено методи передачі та захисту даних в радіоканалі при дистанційному керуванні стаціонарними і рухомими об'єктами водойми.

Розроблений індуктивний датчик для моніторингу температур у водних шарах водойми з абсолютною похибкою не більше  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Експериментально встановлена мінімальна кількість датчиків для визначення виду розподілу

температурного поля за глибиною прісної водойми із співвідношення складність–вартість.

Розроблені практичні рекомендації по застосуванню методів і засобів вимірювання і контролю стану біоти прісних водойм в Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику, а також в навчальному процесі вищих навчальних закладів.

**Ключові слова:** біота, графічне програмування, датчик температури, екологічний моніторинг, акустичний образ, математична модель, прісноводна урбанізована екосистема, радіоактивне забруднення.

## АННОТАЦИЯ

Пилькевич Ю.Г. Мониторинг пресноводных урбанизированных экосистем методом компьютерно-математического моделирования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины. – Киев, 2021.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию системы экологического мониторинга состояния биоты урбанизированных пресных водоемов на основе объективной оценки экологической ситуации и оптимизации условий производства товарной рыбы путем использования компьютерно-математического моделирования.

Впервые предложен, теоретически обоснован и экспериментально проверен метод мониторинга интенсивностей ионизирующих излучений, основанный на измерении временных характеристик  $n$ -мерных функций распределения вероятностей временных интервалов между импульсами, которые вырабатываются детекторами излучений.

Усовершенствован метод определения кислородного режима пресного водоема, который основан на контроле растворенного кислорода на поверхности водоема и в двух точках по глубине, а именно, на расстоянии 20...25 см от поверхности и 50...100 см от дна водоема.

Разработан канал получения акустической информации из водоема на базе акустического датчика и компьютерной звуковой карты. С помощью графического программирования в среде LabVIEW разработан виртуальный прибор для обработки акустических сигналов.

Разработаны практические рекомендации по применению методов и средств измерения и контроля состояния биоты пресных водоемов в Чернобыльском радиационно-экологическом биосферном заповеднике, а также в учебном процессе высших учебных заведений.

**Ключевые слова:** биота, графическое программирование, датчик температуры, акустический образ, математическая модель, пресноводная урбанизированная экосистема, радиоактивное загрязнение, экологический мониторинг.

## ABSTRACT

Pil'kevich Yu. H. Monitoring of freshwater urbanized ecosystem by the method of computer-mathematical design. – On the rights of the manuscript.

The thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences in the speciality 21.06.01 – ecological safety. – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to theoretical and experimental research of the ecological monitoring system of the biota state of the urbanized fresh reservoirs on the basis of objective estimation of ecological situation and optimization of production terms of commodity fish by the use of computer-mathematical design.

The computer-mathematical model of the ecological monitoring system of the biota state of fresh reservoirs, which is based on the minimum number of the controlled independent parameters and maximal informing, namely: temperature of the layers of aqueous medium, biota sound signals, oxygen mode, protecting the aqueous mirror, is improved.

The measuring method of ionizing radiations intensities is first offered, based and experimentally tested that is measuring-based of time descriptions  $n$ -dimensional functions of probability of temporal intervals distribution between impulses that is produced by the detectors of radiations.

A method for determining the oxygen mode of fresh water, which is based on the control of dissolved oxygen on the surface of the reservoir and at two points in depth, namely, at a distance of 20 ... 25 cm from the surface and 50 cm from the bottom of the reservoir is improved.

The method of allocating a period of basic harmonics of the acoustic signal has become further developed and the principles of identification of acoustic images of fish in a reservoir are developed. It has been shown that the acoustic signal can be displayed as a vector of code vector numbers that greatly enhances the accuracy of measurements.

The channel receiving acoustic information from the reservoir on the basis of an acoustic sensor and a computer sound card is developed. With graphical programming in the LabVIEW environment, a virtual device for processing acoustic signals is developed.

A protection of fresh water reservoirs with production sites is improved, due to the exact recognition of typical acoustic images, namely: paddle, human speech, strikes on the drive element, and the reaction to them acoustic sensor with various immersion of the drive element – in the water, in the ground in the air.

The subsystem of monitoring of the parameters of the reservoir depending on the type of fish-plants and the scheme of installation of measuring instruments and communication with the control complex is developed. The methods of transmission and data protection in the radio channel at remote control of stationary and moving objects of reservoirs is improved.

An inductive sensor for monitoring temperatures in aqueous layers of reservoirs is worked out with an absolute error of no more than  $0,01^{\circ}\text{C}$ . The minimum number of sensors to determine the type of distribution of the temperature field at the depth of fresh water reservoirs are experimentally established with the ratio of complexity-cost.

Practical recommendations are worked out on application of methods and facilities of measuring and control of the state of fresh reservoirs biota in Chernobyl radiation ecological biosphere reserve, and also in the educational process of higher educational establishments.

**Keywords:** acoustic image, biota, ecological monitoring, freshwater urbanized ecosystem, graphic programming, sensor of temperature, mathematical model, radioactive pollution.





**Для нотаток**